

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE TURBINAS PELTON E FRANCIS

CALEFFI, J. P.¹, SCHWANKE, C. M.², NORO, G.Y.C.³

¹ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil – joacaleffi.aluno@unipampa.edu.br

² Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil – cristineschwanke@unipampa.edu.br

³ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil – gabrielinoro.aluno@unipampa.edu.br

RESUMO

As turbinas hidráulicas são fundamentais na conversão de energia da água em energia mecânica, destacando-se as turbinas Pelton e Francis, aplicadas em diferentes condições de queda e vazão (HENN, 2006). Este trabalho apresenta uma análise experimental comparativa do desempenho dessas turbinas em laboratório, considerando variações operacionais como abertura da válvula agulha (Pelton) e das palhetas-guia (Francis), em níveis de 100%, 50% e 25%. Foram avaliadas variáveis como rotação, vazão, torque, potência e rendimento por meio de instrumentos específicos de medição. Os resultados indicam que ambas as turbinas apresentam maior eficiência em condições intermediárias de operação, evidenciando que o rendimento depende do equilíbrio entre vazão e rotação. Observou-se também que o aumento da vazão eleva a potência, porém de forma não linear, devido a perdas no sistema. Conclui-se que o controle adequado das condições operacionais é essencial para maximizar a eficiência energética e otimizar o desempenho de sistemas hidráulicos.

Palavras-chave: Turbina Pelton, Turbina Francis, Eficiência Energética.

1 INTRODUÇÃO

As turbinas hidráulicas desempenham papel essencial na conversão da energia da água em energia mecânica, sendo amplamente utilizadas na geração de energia elétrica (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2014). Dentre os principais tipos, destacam-se a turbina Pelton, de ação, indicada para altas quedas e baixas vazões, e a turbina Francis, de reação, adequada para quedas e vazões intermediárias (HENN, 2006). A análise comparativa do desempenho dessas turbinas é fundamental para o entendimento de suas características operacionais e para a otimização de sistemas hidrelétricos (ÇENGEL; CIMBALA, 2006). Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo avaliar experimentalmente o comportamento das turbinas Pelton e Francis sob diferentes condições de operação, analisando variáveis como vazão, rotação, torque, potência e rendimento.

2 METODOLOGIA

Os procedimentos experimentais e a análise do comportamento hidráulico foram realizados com base em fundamentos descritos na literatura especializada (WHITE, 2011; KHAN, 2015). Realizados no laboratório. Para a turbina Pelton, utilizou-se um sistema com válvula agulha para controle da vazão, variando-se sua abertura em três condições: 100%, 50% e 25%. A medição da rotação foi realizada com estroboscópio, enquanto sensores permitiram a obtenção de dados de vazão e força, possibilitando o cálculo do torque e do rendimento. Já para a turbina Francis, foi utilizado o Conjunto H19 da TecQuipment, que permitiu simular condições reais de operação. Os ensaios também

foram conduzidos com três níveis de abertura das palhetas-guia (100%, 50% e 25%), mantendo-se constantes a altura manométrica e a carga hidráulica. Foram empregados instrumentos como tacômetro óptico, estroboscópio digital e dinamômetros para a coleta dos dados experimentais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas apresentadas a seguir apresentam os dados experimentais obtidos durante os ensaios realizados com as turbinas hidráulicas, analisando diferentes condições operacionais.

Tabela 1 – Ajustes das palhetas guias da francis em 50%.

F2 Dinamômetr o direito (N)	F1 Dinamômetr o esquerdo (N)	Vazão (L.s-1)	Velocidade de rotação (rpm)	Torque (N.m)	Pm (W)	Ph (W)	Rendimento (%)
0	0	0,300	1145	0,000	0,000	8,469	0
0,45	0	0,306	1098	0,011	1,294	8,967	14,43
0,575	0	0,300	1047	0,014	1,576	8,908	17,69
0,95	0	0,282	1010	0,024	2,512	8,444	29,75
1,075	0,05	0,292	973	0,026	2,611	8,850	29,50
1,5	0,35	0,291	942	0,029	2,836	8,839	32,09
2	0,45	0,285	888,8	0,039	3,607	8,672	41,59
2,5	0,575	0,273	819	0,048	4,127	8,365	49,34
3	1	0,287	712	0,050	3,728	8,698	42,86
3,475	1,05	0,292	654	0,061	4,152	8,765	47,37
4,075	1,5	0,285	476	0,064	3,209	-	-
4,575	1,875	0,291	370	0,068	2,615	-	-
5	1,75	0,284	291	0,081	2,476	-	-

Fonte: próprio autor.

Tabela 2 – Abertura Parcial da pelton de 50%.

F2 Dinamômetr o direito (N)	F1 Dinamômetr o esquerdo (N)	Vazão (L.s-1)	Velocidade de rotação (rpm)	Torque (N.m)	Pm (W)	Ph (W)	Rendimento (%)
0	0	0,052	1173	0,0000	0,000	1,470	0
0,5	0,75	0,061	1001	0,0063	0,655	1,787	36,65
0,8	1,2	0,064	941	0,0100	0,985	1,897	51,93
1	1,5	0,066	912	0,0125	1,194	1,979	60,31
1,2	1,75	0,068	888	0,0138	1,279	2,058	62,12
1,4	2,2	0,068	788	0,0200	1,650	2,068	79,82
1,6	2,5	0,069	730	0,0225	1,720	2,103	81,80
1,8	2,75	0,074	666	0,0238	1,656	2,270	72,96

Fonte: próprio autor.

Os resultados obtidos para a turbina Francis apresentam comportamento semelhante ao observado na literatura, principalmente em relação às perdas hidráulicas e variações de rendimento (MARINHO, 2015).

Os resultados experimentais apresentados nas Tabelas 1 e 2 demonstram que ambas as turbinas apresentaram melhor desempenho em condições intermediárias de operação. Na turbina Pelton, o rendimento máximo obtido foi de aproximadamente 81,80%, com vazão de $0,069 \text{ L.s}^{-1}$ e rotação de 730 rpm. Já a turbina Francis apresentou rendimento máximo de aproximadamente 49,34%, associado a uma vazão de $0,273 \text{ L.s}^{-1}$ e rotação de 819 rpm.

Para a turbina Pelton, observou-se que o rendimento máximo ocorre em condições intermediárias de abertura da válvula agulha, especialmente em torno de 50%, indicando que a eficiência não é diretamente proporcional à rotação ou à vazão isoladamente, mas sim ao equilíbrio entre essas variáveis. De forma semelhante, a turbina Francis apresentou melhor desempenho em faixas intermediárias de operação, nas quais a combinação entre vazão, rotação e configuração das palhetas-guia favorece a conversão energética. Em ambos os casos, verificou-se que o aumento da vazão eleva a potência mecânica, porém de maneira não linear, devido às perdas por atrito, dissipação de energia e limitações construtivas dos sistemas.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que a eficiência das turbinas hidráulicas depende da adequada configuração e controle das variáveis operacionais, sendo fundamental a identificação de pontos ótimos de funcionamento. Tanto a turbina Pelton quanto a Francis apresentam melhor desempenho em condições intermediárias de operação, o que reforça a necessidade de estratégias de controle para maximização da eficiência energética. O estudo contribui para o aprimoramento do conhecimento sobre sistemas hidráulicos e oferece subsídios para o desenvolvimento de projetos mais eficientes e sustentáveis, além de possuir relevância acadêmica na formação de engenheiros. Como trabalhos futuros, recomenda-se o aprimoramento dos sistemas de medição, a análise detalhada das perdas energéticas e a utilização de simulações computacionais para complementar os dados experimentais.

REFERÊNCIAS

- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications**. [S.l.]: McGraw-Hill, 2006.
- HENN, É. A. L. **Máquinas de Fluido**. 2ª. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.
- MARINHO, Fernanda Carvalho. **Estudo de uma turbina Francis: manutenção centrada em confiabilidade e análise de abrasão**. 2015. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- KHAN, M. K. **Fluid Mechanics and Machinery**. New Delhi: Oxford University Press, 2015.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- WHITE, F. M. **Fluid Mechanics**. 7ª ed. McGraw-Hill, 2011.